

NASA TECHNICAL
TRANSLATION

NASA TT F-318



NASA TT F-318

C-1

0068896



TECH LIBRARY KAFB, NM

COMPUTING THE SPECTRAL DISTRIBUTION OF THE BRIGHTNESS OF THE CLOUDLESS SKY IN A TWO-PARAMETER MODEL OF THE ATMOSPHERE

by V. K. Kagan and Ye. P. Ryabova

From *Trudy Glavnay Geofizicheskoy Observatorii imeni A. I. Voyeykova*, No. 152, 1964

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION • WASHINGTON, D. C. • APRIL 1965



0068896

NASA TT F-318

COMPUTING THE SPECTRAL DISTRIBUTION OF THE BRIGHTNESS
OF THE CLOUDLESS SKY IN A TWO-PARAMETER
MODEL OF THE ATMOSPHERE

V. K. Kagan and Ye. P. Ryabova

Translation of "K raschetu spektral'nogo raspredeleniya yarkosti
bezoblachnogo neba v dvukhparametricheskoy modeli atmosfery."
Trudy Glavnay Geofizicheskoy Observatorii imeni A. I. Voyeykova,
No. 152, pp. 16-30, 1964.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION

For sale by the Office of Technical Services, Department of Commerce,
Washington, D.C. 20230 -- Price \$1.00

COMPUTING THE SPECTRAL DISTRIBUTION OF THE BRIGHTNESS OF THE CLOUDLESS SKY IN A TWO-PARAMETER MODEL OF THE ATMOSPHERE

V. K. Kagan and Ye. P. Ryabova

ABSTRACT

The calculation procedure is presented for the spectral distribution of the brightness of the clear sky in accordance with the scheme of K. S. Shifrin and I. N. Minin. Tables are presented for the values of quantities and auxiliary functions which are contained in the equation of V. V. Sobolev for determining the brightness coefficient.

For a series of investigations in the field of biophysics (in particular the biophysics of plants, the biophysics of vision, etc.) it is important to know the spectral composition of the visible light flux which is incident on an arbitrarily oriented surface from a limited (in the general case) region of the sky for different altitudes of the sun.

This problem may be solved by carrying out calculations proceeding from the closed two-parameter model of the atmosphere constructed by K. S. Shifrin and I. N. Minin (ref. 1). The scheme developed in ref. 1 makes it possible to determine the coefficient of brightness as a function of the coordinates of the point in the sky and of the wavelength. The equation for determining the coefficient of brightness obtained by V. V. Sobolev (ref. 2) has the form

$$\sigma(\theta, \varphi, i, \lambda) = \frac{[(1-A)R(\tau_0, \theta) + 2A]R(\tau_0 i)}{4 + [3 - x_1(\lambda)](1-A)\tau_0} - \frac{1}{2}(e^{-\tau_0 \sec \theta} + e^{-\tau_0 \sec i}) + (1) \\ + \{x(\gamma, \lambda) - [3 + x_1(\lambda)]\cos \theta \cos i\}\sigma_0(\theta, i).$$

Here A is the albedo of the base surface, τ_0 is the optical thickness of the atmosphere, i is the zenith distance of the sun, ϕ, ϑ is the azimuth measured from the solar vertical, and the zenith distance of the considered point of the sky, $R(\tau_0, \theta)$ is a function given by the equation

$$R(\tau_0, \theta) = 1 + \frac{3}{2}\cos \theta + \left(1 - \frac{3}{2}\cos \theta\right)e^{-\tau_0 \sec \theta}, \quad (2)$$

$\sigma_0(\theta, i)$ is the brightness coefficient for a spherical indicatrix of scattering computed from the equation

$$\sigma_0(\vartheta, i) = \frac{1}{4} \frac{e^{-\tau_0 \sec i} - e^{-\tau_0 \sec \vartheta}}{\cos i - \cos \vartheta}, \quad (3)$$

γ is the angle between the radius-vector of the considered point of the sky and the solar ray which falls at this point, computed by means of equation

$$\cos \gamma = \cos \vartheta \cos i + \sin \vartheta \sin i \cos \varphi. \quad (4)$$

The scattering indicatrix $x(\gamma, \lambda)$ is normalized such that

$$\frac{1}{2} \int_0^\pi x(\gamma, \lambda) \sin \gamma d\gamma = 1.$$

The quantity $x_1(\lambda)$ is given by the equation

$$x_1(\lambda) = \frac{3}{4} \int_0^\pi x(\gamma, \lambda) \sin 2\gamma d\gamma.$$

The magnitude of the albedo and the optical thickness of the atmosphere depend on the wavelength λ . The total scattering indicatrix is the sum of the Rayleigh indicatrix and the aerosol indicatrix which also depends on λ .

The calculations in accordance with equation (1) may be substantially simplified if the functions which enter into it are tabulated beforehand.

In the present work the tables of these functions (Tables 1-8) are prepared for the state of the atmosphere which is characterized by the horizontal visibility $S_0 = 20$ km and an optical thickness $\tau_0 = 0.3$ for a wavelength

$\lambda = 550$ millimicrons.

As shown in reference 1, the spectral optical thickness of the atmosphere for this condition is given by

$$\tau_0 = 8a(0, \lambda) + \frac{112.2}{\lambda}.$$

Where $a(0, \lambda)$ is the Rayleigh attenuation coefficient, while the wavelength λ is expressed in millimicrons.

The average indicatrix for the entire atmosphere is determined by the following equation as shown in reference 1:

$$x(\gamma, \lambda) = \frac{1}{\tau_0} \left[8a(0, \lambda) x_r(\gamma) + \frac{112.2}{\lambda} x_a(\gamma, \lambda) \right].$$

The normalization of the Rayleigh indicatrix, as we know, is

$$x_r = \frac{3}{4}(1 + \cos^2 \gamma).$$

To compute the normalized aerosol indicatrix $x_a(\gamma, \lambda)$, we made use of the experimental data of Foitzik and Zschaeck (ref. 3), which make it possible to establish a relationship between x_a , γ and S_0 .

The variation in S_0 as a function of λ in the visible part of the spectrum is taken from Table 10 of reference 1. This relationship may be approximated quite well by the equation

$$S_0 = 12.3 + 0.0434\lambda_{KM} \quad (\lambda \text{ in millimicrons}).$$

The results of the calculations are shown in Tables 1-7. Table 1 gives the values of the normalized aerosol indicatrix $x_a(\gamma, \lambda)$; the last line shows the values of $x_r(\gamma)$. Table 2 shows the values of the average indicatrix $x(\gamma, \lambda)$ for the entire atmosphere and the values of the function $x_1(\lambda)$. Tables 3 and 4 show the values of the function $e^{-\tau_0 \sec \vartheta}$ and $R(\tau_0, \vartheta)$. Table 5 contains the values of the product $\frac{1}{\pi} I_0(\lambda) \cos i$, which must be used to multiply the coefficients of brightness to obtain brightness $B(\lambda)$ in absolute units. The values of the density of solar radiation flux, incident to the upper boundary of the atmosphere, are taken from the tables of K. S. Shifrin and N. P. Pyatovskaya (ref. 4).

Table 6 gives the values of the angle γ in fractions of a degree. Table 7 contains the values of σ_0 .

The variation in the albedo as a function of the wavelength for some base surfaces, in accordance with the experimental data of Ye. K. Putseyko (ref. 5), is presented in Table 8. The same table shows the values for the optical thickness of the atmosphere. The present work was conducted under the direction of K. S. Shifrin.

TABLE 1. THE NORMALIZED AEROSOL AND RAYLEIGH SCATTERING INDICATRIXES.

λ m μ	$x_a(\lambda, \gamma)$																			
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	
380	15,4	11,30	6,44	3,80	2,13	1,28	0,807	0,526	0,376	0,301	0,262	0,234	0,202	0,200	0,208	0,211	0,215	0,221	0,224	
390	15,14	11,10	6,38	3,75	2,13	1,29	0,820	0,533	0,382	0,309	0,267	0,242	0,209	0,206	0,215	0,219	0,224	0,230	0,231	
400	15,03	10,96	6,34	3,72	2,13	1,30	0,824	0,542	0,389	0,324	0,272	0,248	0,215	0,211	0,224	0,226	0,229	0,236	0,238	
410	14,86	10,8	6,28	3,68	2,13	1,30	0,832	0,551	0,397	0,324	0,278	0,255	0,221	0,219	0,230	0,234	0,236	0,242	0,247	
420	14,69	10,62	6,24	3,64	2,13	1,31	0,839	0,557	0,406	0,330	0,283	0,261	0,227	0,225	0,239	0,240	0,243	0,249	0,252	
430	14,55	10,57	6,17	3,61	2,12	1,31	0,845	0,565	0,411	0,335	0,288	0,267	0,234	0,230	0,246	0,248	0,252	0,258	0,261	
440	14,39	10,47	6,16	3,60	2,12	1,32	0,851	0,575	0,417	0,339	0,293	0,271	0,240	0,235	0,254	0,257	0,258	0,265	0,269	
450	14,29	10,33	6,14	3,57	2,12	1,32	0,857	0,581	0,422	0,343	0,298	0,274	0,245	0,236	0,258	0,260	0,263	0,271	0,275	
460	14,19	10,23	6,11	3,55	2,12	1,33	0,861	0,585	0,425	0,345	0,299	0,280	0,249	0,236	0,263	0,266	0,269	0,277	0,282	
470	14,03	10,09	6,04	3,51	2,12	1,34	0,867	0,594	0,432	0,351	0,304	0,285	0,258	0,254	0,271	0,275	0,278	0,286	0,290	
480	13,87	9,93	6,00	3,48	2,12	1,34	0,875	0,598	0,441	0,355	0,308	0,290	0,266	0,261	0,279	0,284	0,287	0,293	0,301	
490	13,80	9,89	5,97	3,46	2,11	1,34	0,881	0,603	0,445	0,359	0,311	0,294	0,271	0,267	0,286	0,288	0,292	0,299	0,308	
500	13,71	9,75	5,93	3,44	2,11	1,34	0,887	0,608	0,451	0,361	0,315	0,298	0,276	0,271	0,291	0,295	0,298	0,304	0,313	
510	13,61	9,64	5,90	3,42	2,11	1,35	0,891	0,611	0,455	0,365	0,319	0,301	0,282	0,277	0,296	0,300	0,303	0,311	0,319	
520	13,52	9,56	5,86	3,40	2,11	1,35	0,897	0,614	0,460	0,369	0,323	0,306	0,289	0,283	0,302	0,305	0,309	0,318	0,324	
530	13,43	9,51	5,83	3,37	2,11	1,36	0,904	0,618	0,463	0,371	0,327	0,309	0,295	0,287	0,304	0,311	0,315	0,327	0,334	
540	13,37	9,40	5,81	3,36	2,11	1,36	0,908	0,622	0,469	0,375	0,331	0,313	0,299	0,294	0,305	0,314	0,321	0,334	0,341	
550	13,25	9,28	5,79	3,37	2,11	1,37	0,918	0,630	0,470	0,376	0,333	0,316	0,302	0,301	0,306	0,319	0,326	0,342	0,349	
560	13,18	9,16	5,73	3,33	2,11	1,36	0,919	0,632	0,475	0,378	0,337	0,321	0,306	0,303	0,310	0,324	0,334	0,351	0,357	
570	13,12	9,12	5,72	3,30	2,10	1,36	0,920	0,636	0,481	0,382	0,341	0,324	0,308	0,306	0,313	0,331	0,340	0,359	0,366	
580	13,09	9,06	5,68	3,28	2,10	1,36	0,920	0,640	0,484	0,386	0,344	0,328	0,312	0,308	0,316	0,337	0,346	0,366	0,375	
590	13,06	9,02	5,65	3,27	2,10	1,36	0,920	0,643	0,487	0,387	0,347	0,331	0,314	0,311	0,318	0,340	0,349	0,372	0,382	
600	13,00	8,95	5,62	3,26	2,09	1,35	0,920	0,647	0,490	0,390	0,351	0,334	0,318	0,314	0,322	0,344	0,353	0,379	0,387	
610	12,91	8,87	5,57	3,24	2,09	1,35	0,923	0,652	0,492	0,393	0,352	0,337	0,320	0,317	0,325	0,347	0,358	0,384	0,393	
620	12,82	8,83	5,53	3,22	2,08	1,35	0,923	0,654	0,494	0,395	0,354	0,339	0,324	0,322	0,328	0,352	0,366	0,392	0,401	
630	12,74	8,77	5,49	3,21	2,08	1,35	0,923	0,656	0,498	0,398	0,358	0,342	0,328	0,325	0,332	0,356	0,373	0,400	0,410	
640	12,68	8,71	5,47	3,19	2,07	1,35	0,923	0,658	0,501	0,400	0,360	0,344	0,331	0,327	0,334	0,360	0,377	0,407	0,418	
650	12,62	8,66	5,44	3,17	2,06	1,35	0,923	0,662	0,504	0,403	0,363	0,347	0,334	0,330	0,337	0,365	0,384	0,414	0,426	

Note: Commas in these tables represent decimal points.

TABLE 1 (continued)

$\lambda \text{ m}\mu$	$x_a (\lambda, \gamma)$																		
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
660	12,58	8,61	5,41	3,17	2,06	1,35	0,923	0,665	0,506	0,406	0,366	0,350	0,337	0,333	0,340	0,370	0,392	0,420	0,436
670	12,57	8,57	5,38	3,16	2,05	1,35	0,923	0,668	0,508	0,408	0,367	0,351	0,338	0,335	0,342	0,373	0,396	0,425	0,441
680	12,54	8,53	5,35	3,16	2,05	1,35	0,923	0,670	0,510	0,410	0,368	0,352	0,339	0,337	0,344	0,376	0,398	0,432	0,446
690	12,51	8,51	5,32	3,15	2,04	1,35	0,923	0,673	0,512	0,412	0,370	0,354	0,342	0,340	0,348	0,380	0,404	0,438	0,453
700	12,45	8,49	5,29	3,13	2,03	1,35	0,923	0,676	0,515	0,414	0,372	0,356	0,345	0,343	0,352	0,384	0,410	0,443	0,460
710	12,37	8,43	5,26	3,13	2,03	1,35	0,923	0,679	0,518	0,416	0,375	0,359	0,349	0,346	0,356	0,389	0,416	0,451	0,469
720	12,30	8,36	5,24	3,12	2,02	1,35	0,923	0,681	0,521	0,418	0,378	0,361	0,353	0,349	0,359	0,394	0,421	0,458	0,478
730	12,25	8,33	5,22	3,11	2,01	1,35	0,923	0,682	0,522	0,419	0,380	0,363	0,355	0,351	0,361	0,396	0,426	0,463	0,485
740	12,19	8,30	5,20	3,10	2,01	1,35	0,923	0,684	0,524	0,421	0,382	0,365	0,357	0,353	0,363	0,398	0,431	0,468	0,490
750	12,13	8,28	5,17	3,09	2,00	1,34	0,924	0,686	0,526	0,424	0,384	0,367	0,359	0,355	0,365	0,403	0,436	0,474	0,498
760	12,08	8,27	5,15	3,09	2,00	1,34	0,925	0,688	0,528	0,427	0,386	0,369	0,361	0,357	0,366	0,407	0,441	0,480	0,506
$x_p(\gamma)$	1,5	1,4774	1,4122	1,3125	1,1901	1,0599	0,9375	0,8378	0,7726	0,75	0,7726	0,8378	0,9375	1,0599	1,1901	1,3125	1,4122	1,4274	1,5

TABLE 2. THE AVERAGE INDICATRIX OF THE ENTIRE ATMOSPHERE.

$\lambda \text{ m}\mu$	$x(\lambda, \gamma)$																		$x_1(\lambda)$	
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	
380	7,13	5,45	3,45	2,32	1,57	1,15	0,885	0,712	0,612	0,568	0,566	0,594	0,640	0,712	0,793	0,867	0,928	0,969	0,984	0,774
390	7,31	5,57	3,53	2,35	1,59	1,16	0,887	0,708	0,606	0,562	0,557	0,584	0,627	0,695	0,775	0,847	0,906	0,946	0,960	0,805
400	7,53	5,70	3,61	2,39	1,61	1,17	0,887	0,706	0,602	0,560	0,549	0,575	0,615	0,682	0,760	0,828	0,885	0,924	0,938	0,837
410	7,70	5,80	3,67	2,41	1,63	1,17	0,889	0,705	0,598	0,552	0,543	0,567	0,605	0,670	0,745	0,812	0,866	0,904	0,918	0,861
420	7,87	5,89	3,74	2,44	1,64	1,18	0,890	0,702	0,596	0,547	0,536	0,559	0,595	0,657	0,731	0,795	0,848	0,885	0,898	0,886
430	8,04	6,03	3,80	2,46	1,66	1,19	0,891	0,701	0,591	0,542	0,530	0,552	0,585	0,644	0,717	0,779	0,831	0,867	0,879	0,913

TABLE 2 (continued)

$\lambda \text{ m}\mu$	$x(\lambda, \gamma)$																			$x_1(\lambda)$
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	
440	8,18	6,14	3,87	2,50	1,67	1,19	0,893	0,702	0,588	0,537	0,524	0,544	0,576	0,632	0,705	0,765	0,814	0,849	0,862	0,939
450	8,35	6,22	3,95	2,52	1,69	1,20	0,894	0,700	0,585	0,532	0,518	0,536	0,566	0,613	0,691	0,749	0,796	0,831	0,844	0,965
460	8,51	6,31	4,01	2,55	1,70	1,21	0,895	0,698	0,581	0,526	0,511	0,530	0,557	0,605	0,678	0,734	0,781	0,814	0,827	0,989
470	8,64	6,39	4,05	2,57	1,72	1,22	0,897	0,699	0,578	0,523	0,505	0,523	0,550	0,600	0,666	0,721	0,766	0,798	0,810	1,009
480	8,74	6,43	4,10	2,58	1,73	1,22	0,901	0,697	0,578	0,519	0,501	0,517	0,544	0,592	0,655	0,710	0,754	0,784	0,798	1,025
490	8,89	6,53	4,15	2,60	1,74	1,23	0,904	0,697	0,576	0,515	0,495	0,511	0,537	0,583	0,647	0,697	0,739	0,769	0,784	1,046
500	9,02	6,57	4,19	2,62	1,76	1,23	0,906	0,696	0,575	0,510	0,491	0,505	0,530	0,574	0,636	0,686	0,726	0,755	0,769	1,063
510	9,14	6,63	4,24	2,64	1,77	1,24	0,908	0,695	0,573	0,507	0,487	0,499	0,524	0,566	0,626	0,674	0,713	0,742	0,755	1,081
520	9,24	6,68	4,28	2,66	1,78	1,25	0,911	0,694	0,571	0,505	0,483	0,495	0,520	0,559	0,618	0,663	0,702	0,731	0,742	1,097
530	9,34	6,76	4,32	2,66	1,79	1,26	0,915	0,693	0,569	0,501	0,480	0,490	0,515	0,532	0,608	0,654	0,691	0,721	0,734	1,113
540	9,45	6,78	4,36	2,68	1,81	1,26	0,918	0,693	0,569	0,499	0,477	0,486	0,510	0,547	0,597	0,644	0,681	0,711	0,724	1,128
550	9,51	6,80	4,40	2,72	1,82	1,27	0,924	0,696	0,566	0,495	0,472	0,482	0,504	0,546	0,587	0,635	0,672	0,703	0,715	1,145
560	9,62	6,82	4,41	2,71	1,83	1,27	0,925	0,695	0,566	0,492	0,470	0,479	0,499	0,534	0,579	0,626	0,663	0,695	0,705	1,152
570	9,69	6,86	4,45	2,71	1,83	1,27	0,925	0,696	0,567	0,491	0,468	0,476	0,494	0,528	0,572	0,621	0,656	0,689	0,701	1,162
580	9,81	6,91	4,47	2,72	1,84	1,28	0,925	0,696	0,566	0,489	0,465	0,472	0,489	0,521	0,564	0,613	0,648	0,681	0,693	1,174
590	9,89	6,95	4,49	2,73	1,85	1,28	0,925	0,696	0,565	0,487	0,464	0,470	0,485	0,517	0,557	0,607	0,641	0,676	0,689	1,184
600	9,98	6,99	4,52	2,75	1,85	1,27	0,925	0,697	0,564	0,485	0,462	0,466	0,481	0,510	0,550	0,598	0,631	0,667	0,679	1,194
610	10,02	7,00	4,52	2,75	1,86	1,28	0,927	0,699	0,563	0,483	0,459	0,464	0,476	0,505	0,544	0,592	0,625	0,661	0,673	1,201
620	10,06	7,04	4,53	2,75	1,86	1,28	0,927	0,699	0,562	0,482	0,457	0,461	0,474	0,502	0,538	0,586	0,621	0,657	0,669	1,207
630	10,11	7,06	4,54	2,77	1,87	1,28	0,926	0,699	0,562	0,480	0,455	0,453	0,471	0,497	0,533	0,580	0,616	0,652	0,665	1,215
640	10,15	7,08	4,55	2,77	1,87	1,28	0,926	0,699	0,562	0,479	0,453	0,456	0,468	0,493	0,527	0,575	0,611	0,649	0,663	1,220
650	10,20	7,10	4,56	2,77	1,87	1,29	0,926	0,700	0,562	0,479	0,452	0,454	0,465	0,489	0,523	0,571	0,608	0,645	0,660	1,225
660	10,25	7,11	4,57	2,78	1,88	1,29	0,926	0,701	0,562	0,478	0,451	0,452	0,463	0,486	0,519	0,568	0,603	0,642	0,659	1,231
670	10,33	7,14	4,58	2,79	1,88	1,29	0,926	0,702	0,561	0,477	0,449	0,449	0,459	0,481	0,513	0,563	0,601	0,638	0,655	1,238
680	10,39	7,15	4,58	2,80	1,88	1,29	0,926	0,703	0,561	0,476	0,447	0,447	0,457	0,478	0,509	0,559	0,596	0,636	0,652	1,242
690	10,44	7,19	4,59	2,80	1,88	1,30	0,926	0,704	0,561	0,475	0,446	0,445	0,454	0,475	0,506	0,555	0,593	0,633	0,650	1,248
700	10,46	7,21	4,58	2,80	1,88	1,30	0,926	0,705	0,562	0,475	0,445	0,444	0,453	0,474	0,505	0,553	0,593	0,631	0,649	1,249
710	10,46	7,21	4,59	2,81	1,88	1,30	0,926	0,707	0,563	0,475	0,445	0,443	0,452	0,471	0,502	0,551	0,591	0,631	0,650	1,253
720	10,46	7,19	4,59	2,81	1,88	1,30	0,925	0,708	0,564	0,475	0,445	0,442	0,453	0,470	0,501	0,551	0,590	0,632	0,652	1,252
730	10,48	7,20	4,59	2,81	1,87	1,30	0,925	0,708	0,563	0,474	0,445	0,441	0,451	0,468	0,498	0,547	0,589	0,630	0,653	1,253
740	10,48	7,21	4,60	2,81	1,88	1,30	0,925	0,709	0,564	0,474	0,444	0,440	0,450	0,466	0,495	0,544	0,588	0,629	0,651	1,257
750	10,50	7,23	4,59	2,82	1,88	1,30	0,926	0,709	0,564	0,474	0,444	0,439	0,448	0,463	0,492	0,543	0,586	0,628	0,652	1,259
760	10,52	7,27	4,60	2,83	1,88	1,30	0,927	0,710	0,564	0,475	0,443	0,438	0,446	0,461	0,488	0,541	0,585	0,627	0,653	1,265

TABLE 3.

λ m μ	exp (- $\tau_0 \sec \theta$)									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
380	0,482	0,477	0,460	0,431	0,385	0,321	0,232	0,118	0,0150	
390	0,509	0,504	0,487	0,458	0,414	0,350	0,259	0,139	0,0204	
400	0,533	0,528	0,512	0,483	0,440	0,376	0,284	0,159	0,0266	
410	0,555	0,549	0,534	0,506	0,463	0,400	0,308	0,178	0,0335	
420	0,575	0,570	0,555	0,527	0,485	0,423	0,331	0,198	0,0413	
430	0,594	0,589	0,574	0,547	0,507	0,445	0,353	0,218	0,0497	
440	0,612	0,607	0,592	0,567	0,526	0,465	0,374	0,237	0,0588	
450	0,628	0,624	0,609	0,584	0,544	0,485	0,394	0,256	0,0686	
460	0,643	0,639	0,625	0,601	0,562	0,503	0,414	0,275	0,0786	
470	0,658	0,654	0,640	0,617	0,579	0,521	0,433	0,294	0,0896	
480	0,670	0,667	0,654	0,631	0,594	0,537	0,450	0,311	0,100	
490	0,683	0,679	0,667	0,644	0,608	0,553	0,467	0,328	0,111	
500	0,694	0,691	0,679	0,657	0,621	0,567	0,482	0,344	0,123	
510	0,706	0,702	0,690	0,668	0,634	0,581	0,498	0,361	0,134	
520	0,715	0,712	0,700	0,679	0,646	0,594	0,512	0,375	0,145	
530	0,725	0,721	0,710	0,689	0,657	0,606	0,525	0,390	0,156	
540	0,733	0,730	0,719	0,699	0,667	0,617	0,538	0,404	0,167	
550	0,741	0,738	0,727	0,708	0,677	0,628	0,550	0,417	0,178	
560	0,750	0,746	0,736	0,717	0,686	0,639	0,562	0,430	0,190	
570	0,756	0,753	0,743	0,724	0,695	0,648	0,572	0,442	0,200	
580	0,764	0,760	0,750	0,732	0,703	0,657	0,583	0,454	0,211	
590	0,769	0,766	0,757	0,739	0,710	0,665	0,592	0,465	0,221	
600	0,776	0,773	0,763	0,746	0,718	0,674	0,602	0,476	0,232	
610	0,782	0,779	0,769	0,752	0,725	0,682	0,611	0,487	0,242	
620	0,787	0,784	0,775	0,759	0,732	0,689	0,620	0,497	0,252	
630	0,793	0,790	0,781	0,764	0,738	0,696	0,628	0,507	0,262	
640	0,797	0,795	0,786	0,770	0,744	0,703	0,636	0,516	0,271	
650	0,801	0,799	0,791	0,775	0,750	0,709	0,643	0,525	0,281	
660	0,806	0,804	0,795	0,780	0,755	0,715	0,650	0,533	0,289	
670	0,811	0,808	0,800	0,785	0,760	0,721	0,657	0,541	0,298	
680	0,815	0,812	0,804	0,789	0,765	0,727	0,664	0,549	0,307	
690	0,819	0,816	0,808	0,793	0,770	0,732	0,670	0,557	0,316	
700	0,822	0,820	0,812	0,797	0,774	0,737	0,676	0,564	0,323	
710	0,826	0,823	0,816	0,802	0,779	0,742	0,682	0,571	0,332	
720	0,829	0,826	0,819	0,805	0,783	0,747	0,687	0,577	0,339	
730	0,832	0,830	0,822	0,808	0,786	0,751	0,692	0,584	0,346	
740	0,835	0,833	0,825	0,812	0,790	0,755	0,697	0,590	0,354	
750	0,838	0,836	0,828	0,815	0,794	0,760	0,702	0,596	0,361	
760	0,841	0,839	0,832	0,819	0,798	0,764	0,707	0,603	0,368	

TABLE 4.

λ m μ	$R(\tau_0, \theta)$								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
380	2,259	2,250	2,221	2,170	2,092	1,976	1,808	1,570	1,271
390	2,246	2,237	2,210	2,162	2,087	1,977	1,815	1,581	1,275
400	2,234	2,225	2,200	2,155	2,083	1,978	1,821	1,590	1,280
410	2,226	2,215	2,191	2,148	2,080	1,979	1,827	1,600	1,285
420	2,212	2,205	2,182	2,141	2,077	1,979	1,833	1,609	1,291
430	2,203	2,196	2,174	2,135	2,073	1,980	1,838	1,619	1,297
440	2,194	2,188	2,167	2,129	2,071	1,981	1,844	1,628	1,304
450	2,186	2,179	2,160	2,124	2,068	1,982	1,849	1,638	1,311
460	2,178	2,172	2,154	2,119	2,065	1,982	1,854	1,647	1,319
470	2,171	2,165	2,147	2,115	2,063	1,983	1,858	1,656	1,327
480	2,165	2,159	2,142	2,110	2,060	1,983	1,862	1,664	1,334
490	2,158	2,153	2,136	2,106	2,058	1,984	1,867	1,673	1,342
500	2,153	2,147	2,131	2,103	2,056	1,984	1,871	1,681	1,351
510	2,147	2,142	2,127	2,099	2,055	1,985	1,875	1,689	1,360
520	2,142	2,137	2,123	2,096	2,053	1,985	1,878	1,696	1,368
530	2,138	2,133	2,119	2,093	2,051	1,986	1,881	1,703	1,376
540	2,134	2,129	2,115	2,090	2,050	1,986	1,884	1,710	1,384
550	2,130	2,125	2,112	2,087	2,048	1,987	1,887	1,716	1,392
560	2,125	2,121	2,108	2,085	2,047	1,987	1,890	1,722	1,401
570	2,122	2,118	2,105	2,083	2,045	1,987	1,833	1,728	1,408
580	2,118	2,115	2,102	2,080	2,044	1,988	1,896	1,734	1,416
590	2,116	2,112	2,100	2,078	2,043	1,988	1,898	1,739	1,424
600	2,112	2,108	2,097	2,076	2,042	1,988	1,900	1,745	1,432
610	2,109	2,105	2,095	2,074	2,041	1,989	1,903	1,750	1,439
620	2,106	2,103	2,092	2,072	2,040	1,989	1,905	1,755	1,447
630	2,104	2,100	2,090	2,071	2,039	1,989	1,907	1,760	1,454
640	2,102	2,098	2,088	2,069	2,038	1,989	1,909	1,764	1,461
650	2,100	2,096	2,086	2,067	2,037	1,990	1,911	1,769	1,468
660	2,097	2,094	2,084	2,066	2,037	1,990	1,913	1,773	1,474
670	2,094	2,092	2,082	2,064	2,036	1,990	1,914	1,776	1,481
680	2,092	2,090	2,080	2,063	2,035	1,990	1,916	1,780	1,487
690	2,090	2,088	2,079	2,062	2,034	1,990	1,918	1,784	1,494
700	2,089	2,086	2,077	2,061	2,034	1,991	1,919	1,788	1,499
710	2,087	2,084	2,075	2,059	2,033	1,991	1,920	1,791	1,506
720	2,086	2,083	2,074	2,058	2,032	1,991	1,922	1,794	1,511
730	2,084	2,081	2,073	2,057	2,032	1,991	1,923	1,797	1,516
740	2,082	2,080	2,072	2,056	2,031	1,991	1,924	1,800	1,522
750	2,081	2,078	2,070	2,055	2,031	1,991	1,926	1,803	1,527
760	2,080	2,077	2,069	2,054	2,030	1,992	1,927	1,807	1,533

TABLE 5.

λ m μ	$\frac{1}{\pi} \cos i I(\lambda) 10^{-3}$ cal/cm 2 min ster. m μ									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
380	0,564	0,555	0,530	0,488	0,432	0,363	0,282	0,193	0,0979	
390	0,513	0,505	0,482	0,444	0,393	0,330	0,256	0,175	0,0891	
400	0,706	0,695	0,663	0,611	0,541	0,454	0,353	0,241	0,123	
410	0,889	0,875	0,835	0,770	0,681	0,571	0,444	0,304	0,154	
420	0,880	0,867	0,827	0,762	0,674	0,566	0,440	0,301	0,153	
430	0,816	0,804	0,767	0,707	0,625	0,525	0,408	0,279	0,142	
440	0,930	0,916	0,874	0,805	0,712	0,598	0,465	0,318	0,161	
450	1,008	0,993	0,947	0,873	0,772	0,648	0,504	0,345	0,175	
460	0,990	0,975	0,930	0,857	0,758	0,636	0,495	0,339	0,172	
470	0,995	0,980	0,935	0,862	0,762	0,640	0,498	0,340	0,173	
480	0,990	0,975	0,930	0,857	0,758	0,636	0,495	0,339	0,172	
490	0,912	0,898	0,857	0,790	0,699	0,586	0,456	0,312	0,158	
500	0,908	0,894	0,853	0,786	0,696	0,584	0,454	0,311	0,158	
510	0,898	0,884	0,844	0,778	0,688	0,577	0,449	0,307	0,156	
520	0,857	0,844	0,805	0,742	0,656	0,551	0,428	0,293	0,149	
530	0,894	0,880	0,840	0,774	0,685	0,575	0,447	0,306	0,155	
540	0,908	0,894	0,853	0,786	0,696	0,584	0,454	0,311	0,158	
550	0,894	0,880	0,840	0,774	0,685	0,575	0,447	0,306	0,155	
560	0,871	0,858	0,818	0,754	0,667	0,560	0,436	0,298	0,151	
570	0,857	0,844	0,805	0,742	0,656	0,551	0,428	0,293	0,149	
580	0,857	0,844	0,805	0,742	0,656	0,551	0,428	0,293	0,149	
590	0,843	0,830	0,792	0,730	0,646	0,542	0,422	0,288	0,146	
600	0,830	0,817	0,780	0,719	0,636	0,534	0,415	0,284	0,144	
610	0,811	0,799	0,762	0,702	0,621	0,521	0,406	0,277	0,141	
620	0,798	0,786	0,750	0,691	0,611	0,513	0,399	0,273	0,139	
630	0,779	0,767	0,732	0,675	0,597	0,501	0,390	0,266	0,135	
640	0,761	0,749	0,715	0,659	0,583	0,489	0,380	0,260	0,132	
650	0,743	0,732	0,698	0,643	0,569	0,478	0,372	0,254	0,129	
660	0,729	0,718	0,685	0,631	0,558	0,469	0,364	0,249	0,127	
670	0,710	0,699	0,667	0,615	0,544	0,456	0,355	0,243	0,123	
680	0,692	0,681	0,650	0,599	0,530	0,445	0,346	0,237	0,120	
690	0,678	0,668	0,637	0,587	0,519	0,436	0,339	0,232	0,118	
700	0,660	0,650	0,620	0,572	0,506	0,424	0,330	0,226	0,115	
710	0,646	0,636	0,607	0,559	0,495	0,415	0,323	0,221	0,112	
720	0,628	0,618	0,590	0,544	0,481	0,404	0,314	0,215	0,109	
730	0,614	0,605	0,577	0,532	0,470	0,395	0,307	0,210	0,107	
740	0,596	0,587	0,560	0,516	0,457	0,383	0,298	0,204	0,103	
750	0,582	0,573	0,547	0,504	0,446	0,376	0,291	0,199	0,101	
760	0,564	0,555	0,530	0,488	0,432	0,363	0,282	0,193	0,0979	

TABLE 6. THE SCATTERING ANGLE (IN FRACTIONS OF A DEGREE).

θ°	φ°																
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
$i = 10^\circ$																	
10	1,78	3,45	5,15	6,81	8,42	9,96	11,43	12,82	14,11	15,29	16,35	17,30	18,11	18,78	19,31	19,69	19,92
20	10,29	11,12	12,35	13,85	15,51	17,23	18,96	20,65	22,27	23,78	25,16	26,40	27,47	28,37	29,07	29,59	29,89
30	20,22	20,86	21,87	23,16	24,68	26,33	28,05	29,78	31,47	33,09	34,59	35,95	37,14	38,13	38,98	39,50	39,85
40	30,19	30,76	31,67	32,87	34,29	35,87	37,55	39,27	40,97	42,61	44,13	45,82	47,04	48,09	48,93	49,54	49,91
50	40,14	40,66	41,50	42,61	43,94	45,74	47,36	49,05	50,76	52,43	54,03	55,50	56,81	57,92	58,82	59,47	59,87
60	50,21	50,71	51,51	52,60	53,92	55,42	57,06	58,77	60,50	62,21	63,83	65,34	66,69	67,84	68,77	69,45	69,86
70	60,16	60,65	61,44	62,50	63,79	65,27	66,88	68,58	70,32	72,03	73,68	75,21	76,59	77,77	78,73	79,43	79,86
80	70,16	70,63	71,39	72,42	73,68	75,14	76,73	78,42	80,15	81,88	83,54	85,09	86,50	87,71	88,69	89,41	89,85
90	80,15	80,61	81,35	82,36	83,59	85,02	86,60	88,27	90,00	91,73	93,40	94,98	96,41	97,64	98,65	99,39	99,85
$i = 20^\circ$																	
20	3,40	6,80	10,15	13,43	16,62	19,69	22,62	25,40	27,99	30,38	32,54	34,45	36,10	37,48	38,56	39,33	39,80
30	10,82	12,97	15,87	19,13	22,52	25,93	29,27	32,49	35,52	38,34	40,90	43,16	45,41	47,03	48,33	49,27	49,85
40	20,55	22,11	24,46	27,34	30,55	33,92	37,32	40,66	43,84	47,12	49,90	52,43	54,66	56,54	58,03	59,12	59,78
50	30,45	31,76	33,80	36,40	39,39	42,61	46,20	49,54	52,86	56,05	59,04	61,77	64,18	66,21	67,84	69,03	69,76
60	40,36	41,51	43,31	45,96	48,74	51,85	55,18	58,58	61,98	65,27	68,37	71,23	73,77	75,94	77,68	78,96	79,74
70	50,40	51,46	53,16	55,42	58,13	61,18	64,45	67,84	71,25	74,60	77,79	80,75	83,41	85,69	87,53	88,89	89,72
80	60,34	61,34	62,94	65,09	67,69	70,63	73,84	77,19	80,61	83,99	87,25	90,30	93,06	95,44	97,38	98,82	99,70
90	70,32	71,25	72,77	74,81	77,30	80,15	83,28	86,60	90,00	93,40	96,72	99,85	102,70	105,19	107,23	108,75	109,68
$i = 30^\circ$																	
30	5,00	9,96	14,87	19,69	24,40	28,96	33,33	37,48	41,35	45,20	48,42	51,34	53,90	56,05	57,76	59,00	59,75
40	11,50	15,11	19,65	24,55	29,54	34,50	39,31	43,89	48,50	52,60	56,40	59,82	62,82	65,34	67,35	68,81	69,70
50	20,95	23,57	27,33	31,78	36,58	41,51	46,66	51,47	56,18	60,65	64,81	68,58	71,91	74,74	77,00	78,65	79,66
60	30,74	32,87	36,09	40,09	44,51	49,54	54,48	59,46	64,34	69,03	73,45	77,50	81,10	84,19	86,67	88,50	89,62
70	40,59	42,38	45,47	49,05	53,27	57,92	62,81	67,80	72,77	77,61	82,21	86,49	90,33	93,65	96,36	98,36	99,59
80	50,59	52,20	54,78	58,16	62,17	66,64	71,41	76,36	81,35	86,28	91,03	95,50	99,56	103,11	106,02	108,20	109,54
90	60,50	61,98	64,34	67,48	71,25	75,52	80,15	85,02	90,00	94,98	99,85	104,48	108,75	112,52	115,66	118,02	119,50

TABLE 6 (continued)

θ°	φ°																
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
$i = 40^\circ$																	
40	6,42	12,81	19,15	25,40	31,52	37,48	43,17	48,86	54,08	59,00	63,54	67,65	71,26	74,32	76,76	78,55	79,63
50	12,22	17,23	23,24	29,58	36,00	42,31	48,69	54,70	60,50	65,99	71,10	75,75	79,87	83,38	86,22	88,30	89,57
60	21,37	25,02	30,10	35,95	42,12	48,65	55,02	61,34	67,48	73,36	78,89	83,99	88,56	92,49	95,69	98,05	99,51
70	31,03	33,94	38,25	43,45	49,48	55,67	62,06	68,48	74,81	80,96	86,82	92,29	97,25	101,58	105,14	107,79	109,44
80	40,80	43,19	47,15	51,85	57,32	63,29	69,54	75,94	82,36	88,68	94,79	100,57	105,90	110,60	114,53	117,50	119,37
90	50,76	52,86	56,18	60,50	65,60	71,25	77,30	83,59	90,00	96,41	102,70	108,75	114,40	119,50	123,82	127,14	129,24
$i = 50^\circ$																	
50	7,65	15,29	22,87	30,38	37,76	45,20	52,15	59,00	65,60	71,86	77,73	83,12	87,94	92,08	95,45	97,95	99,48
60	12,91	19,13	26,37	33,94	41,54	49,27	56,75	64,11	71,25	78,10	84,58	90,59	96,03	100,77	104,66	107,58	109,39
70	21,76	26,32	32,51	39,50	47,05	54,57	62,22	69,83	77,30	84,56	91,51	98,05	104,06	109,37	113,80	117,17	119,28
80	31,29	34,85	40,06	46,51	53,39	60,74	68,31	75,96	83,59	91,11	98,42	105,40	111,92	117,79	122,80	126,66	129,12
90	40,97	43,84	48,50	54,08	60,50	67,48	74,81	82,86	90,00	97,64	105,19	112,52	119,50	125,92	131,50	136,16	139,03
$i = 60^\circ$																	
60	8,66	17,30	25,91	34,45	42,85	51,34	59,57	67,65	75,52	83,12	90,37	97,18	103,42	108,94	113,55	117,05	119,25
70	13,48	20,65	28,86	37,38	46,16	54,70	63,30	71,80	80,15	88,30	96,16	103,64	110,62	116,90	122,26	126,41	129,05
80	22,07	-27,34	34,36	42,18	50,61	59,12	67,76	76,41	85,02	93,51	101,82	109,85	117,48	124,50	130,63	135,75	138,91
90	31,47	35,52	41,35	48,50	56,18	64,34	72,77	81,35	90,00	98,65	107,23	115,66	123,82	131,60	138,65	144,48	148,53
$i = 70^\circ$																	
70	9,39	18,78	28,15	37,48	46,89	56,05	65,23	74,32	83,28	92,08	100,66	108,94	116,78	124,01	130,33	135,60	138,87
80	13,89	21,72	30,59	39,76	49,19	58,53	67,92	77,29	86,60	95,81	104,90	113,79	122,37	130,46	137,98	144,13	148,43
90	22,27	27,99	35,52	43,84	52,86	61,98	71,25	80,61	90,00	99,39	108,75	118,02	127,14	136,16	144,48	152,01	157,73
$i = 80^\circ$																	
80	9,85	19,69	29,53	39,34	49,24	59,00	68,79	78,55	88,27	97,95	107,55	117,05	126,38	135,60	144,08	151,79	157,66
90	14,11	22,27	31,47	40,97	50,76	60,50	70,32	80,15	90,00	99,85	109,68	119,50	129,24	139,03	148,53	157,73	165,89

TABLE 7. THE BRIGHTNESS COEFFICIENT FOR THE SPHERICAL SCATTERING INDICATRIX.

$\lambda \text{ m}\mu$	θ°																		
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	$i = 0^{\circ}$																		
380	0.088	0.089	0.091	0.096	0.103	0.112	0.125	0.138	0.141	0.120	0.090	0.092	0.097	0.104	0.114	0.126	0.139	0.142	0.121
390	0.086	0.087	0.090	0.094	0.101	0.111	0.125	0.141	0.148	0.127	0.088	0.090	0.095	0.102	0.113	0.126	0.142	0.149	0.128
400	0.084	0.085	0.087	0.092	0.100	0.110	0.124	0.142	0.153	0.131	0.086	0.088	0.093	0.101	0.111	0.126	0.144	0.154	0.134
410	0.082	0.083	0.085	0.090	0.098	0.108	0.124	0.143	0.158	0.139	0.084	0.086	0.091	0.099	0.110	0.125	0.144	0.159	0.139
420	0.080	0.080	0.083	0.088	0.096	0.107	0.122	0.143	0.161	0.144	0.081	0.084	0.089	0.097	0.108	0.124	0.145	0.163	0.145
430	0.077	0.078	0.081	0.086	0.093	0.104	0.121	0.143	0.165	0.149	0.079	0.082	0.087	0.094	0.106	0.122	0.144	0.166	0.149
440	0.075	0.076	0.079	0.084	0.091	0.102	0.119	0.142	0.167	0.153	0.077	0.080	0.085	0.092	0.104	0.120	0.144	0.169	0.154
450	0.073	0.074	0.077	0.081	0.089	0.100	0.117	0.141	0.169	0.157	0.075	0.077	0.082	0.090	0.101	0.118	0.143	0.171	0.158
460	0.071	0.072	0.074	0.079	0.087	0.098	0.115	0.140	0.171	0.161	0.073	0.075	0.080	0.088	0.099	0.116	0.141	0.173	0.162
470	0.069	0.070	0.072	0.077	0.084	0.096	0.113	0.138	0.172	0.165	0.071	0.073	0.078	0.085	0.097	0.114	0.140	0.174	0.166
480	0.067	0.068	0.070	0.075	0.082	0.093	0.110	0.137	0.173	0.168	0.069	0.071	0.076	0.083	0.095	0.112	0.138	0.175	0.169
490	0.065	0.066	0.068	0.073	0.080	0.091	0.108	0.135	0.173	0.171	0.067	0.069	0.074	0.081	0.092	0.110	0.136	0.175	0.172
500	0.063	0.064	0.067	0.071	0.078	0.089	0.105	0.133	0.173	0.174	0.065	0.067	0.072	0.079	0.090	0.107	0.135	0.175	0.175
510	0.062	0.062	0.065	0.069	0.076	0.087	0.104	0.131	0.173	0.177	0.063	0.066	0.070	0.077	0.088	0.105	0.133	0.175	0.178
520	0.060	0.061	0.063	0.067	0.074	0.085	0.102	0.129	0.172	0.179	0.061	0.064	0.068	0.075	0.086	0.103	0.131	0.175	0.181
530	0.058	0.059	0.061	0.066	0.073	0.083	0.100	0.127	0.172	0.181	0.060	0.062	0.067	0.073	0.084	0.101	0.129	0.174	0.183
540	0.057	0.058	0.060	0.064	0.071	0.081	0.098	0.125	0.171	0.183	0.058	0.061	0.065	0.072	0.082	0.099	0.127	0.173	0.185
550	0.055	0.056	0.058	0.063	0.069	0.079	0.093	0.123	0.170	0.185	0.057	0.059	0.063	0.070	0.081	0.097	0.125	0.172	0.187
560	0.054	0.055	0.057	0.061	0.068	0.078	0.094	0.121	0.169	0.187	0.055	0.058	0.062	0.068	0.079	0.095	0.123	0.171	0.189
570	0.053	0.053	0.056	0.060	0.066	0.076	0.092	0.119	0.168	0.189	0.054	0.056	0.060	0.067	0.077	0.093	0.121	0.170	0.191
580	0.052	0.052	0.054	0.058	0.065	0.074	0.090	0.117	0.167	0.191	0.053	0.055	0.059	0.065	0.075	0.091	0.119	0.169	0.193
590	0.050	0.051	0.053	0.057	0.063	0.073	0.089	0.116	0.166	0.192	0.052	0.054	0.058	0.064	0.074	0.090	0.117	0.168	0.194
600	0.049	0.050	0.052	0.056	0.062	0.071	0.087	0.114	0.165	0.194	0.051	0.053	0.056	0.063	0.072	0.088	0.115	0.167	0.196
610	0.048	0.049	0.051	0.055	0.061	0.070	0.085	0.112	0.163	0.196	0.049	0.052	0.055	0.061	0.071	0.086	0.114	0.165	0.198
620	0.047	0.048	0.050	0.053	0.059	0.069	0.084	0.110	0.162	0.197	0.048	0.050	0.054	0.060	0.070	0.085	0.112	0.164	0.199
630	0.046	0.047	0.049	0.052	0.058	0.067	0.082	0.109	0.160	0.198	0.047	0.049	0.053	0.059	0.068	0.083	0.110	0.163	0.201
640	0.045	0.046	0.048	0.051	0.057	0.066	0.081	0.107	0.159	0.199	0.046	0.048	0.052	0.058	0.067	0.082	0.108	0.161	0.202
650	0.044	0.045	0.047	0.050	0.056	0.065	0.079	0.105	0.157	0.200	0.045	0.047	0.051	0.057	0.066	0.080	0.107	0.160	0.203
660	0.043	0.044	0.046	0.049	0.055	0.064	0.078	0.104	0.156	0.201	0.045	0.046	0.050	0.056	0.064	0.079	0.105	0.158	0.204
670	0.043	0.043	0.045	0.048	0.054	0.062	0.077	0.103	0.155	0.203	0.044	0.046	0.049	0.055	0.063	0.078	0.104	0.157	0.205

TABLE 7 (continued)

$\lambda \text{ m}\mu$	θ°																		
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$i = 0^{\circ}$																			
680	0.042	0.042	0.044	0.047	0.053	0.061	0.075	0.101	0.154	0.204	0.043	0.045	0.048	0.054	0.062	0.077	0.102	0.156	0.206
690	0.041	0.042	0.043	0.047	0.052	0.060	0.074	0.099	0.152	0.205	0.042	0.044	0.047	0.053	0.061	0.075	0.101	0.154	0.207
700	0.040	0.041	0.043	0.046	0.051	0.059	0.073	0.098	0.151	0.206	0.041	0.043	0.046	0.052	0.060	0.074	0.099	0.153	0.208
710	0.040	0.040	0.042	0.045	0.050	0.058	0.072	0.097	0.149	0.206	0.041	0.042	0.046	0.051	0.059	0.073	0.098	0.151	0.209
720	0.039	0.039	0.041	0.044	0.049	0.057	0.071	0.095	0.148	0.207	0.040	0.042	0.045	0.050	0.058	0.072	0.097	0.150	0.210
730	0.038	0.039	0.041	0.044	0.049	0.057	0.070	0.094	0.147	0.208	0.039	0.041	0.044	0.049	0.057	0.071	0.096	0.149	0.211
740	0.038	0.038	0.040	0.043	0.048	0.056	0.069	0.093	0.146	0.209	0.039	0.040	0.043	0.048	0.057	0.070	0.094	0.148	0.211
750	0.037	0.037	0.039	0.041	0.047	0.054	0.068	0.092	0.144	0.210	0.038	0.040	0.043	0.048	0.056	0.069	0.093	0.146	0.212
760	0.036	0.037	0.039	0.041	0.046	0.054	0.067	0.091	0.143	0.210	0.037	0.039	0.042	0.047	0.055	0.068	0.092	0.145	0.213
θ°																			
$\lambda \text{ m}\mu$	20	30	40	50	60	70	80	90	30	40	50	60	70	80	90	40	50	60	
$i = 20^{\circ}$																			
380	0.095	0.100	0.107	0.117	0.129	0.143	0.145	0.122	0.105	0.112	0.122	0.135	0.149	0.150	0.124	0.120	0.131	0.144	
390	0.093	0.098	0.105	0.116	0.130	0.146	0.150	0.130	0.103	0.111	0.122	0.136	0.152	0.158	0.132	0.119	0.131	0.146	
400	0.091	0.096	0.104	0.114	0.130	0.148	0.158	0.136	0.101	0.109	0.121	0.136	0.155	0.165	0.139	0.118	0.130	0.146	
410	0.089	0.094	0.102	0.113	0.129	0.149	0.163	0.142	0.099	0.108	0.119	0.136	0.156	0.171	0.146	0.116	0.129	0.146	
420	0.087	0.092	0.100	0.111	0.128	0.149	0.168	0.148	0.097	0.106	0.118	0.135	0.157	0.176	0.152	0.114	0.127	0.146	
430	0.085	0.090	0.098	0.109	0.126	0.149	0.171	0.153	0.095	0.103	0.116	0.133	0.157	0.180	0.158	0.112	0.126	0.145	
440	0.083	0.088	0.095	0.107	0.124	0.149	0.174	0.158	0.093	0.101	0.114	0.132	0.157	0.183	0.164	0.110	0.124	0.143	
450	0.080	0.085	0.093	0.105	0.122	0.148	0.177	0.162	0.091	0.099	0.111	0.130	0.156	0.186	0.169	0.108	0.121	0.141	
460	0.078	0.083	0.091	0.103	0.120	0.146	0.178	0.166	0.088	0.097	0.109	0.128	0.155	0.188	0.174	0.106	0.119	0.139	
470	0.076	0.081	0.089	0.100	0.118	0.145	0.180	0.170	0.086	0.094	0.107	0.126	0.154	0.190	0.178	0.103	0.117	0.137	
480	0.074	0.079	0.086	0.098	0.116	0.143	0.181	0.174	0.084	0.092	0.105	0.123	0.152	0.191	0.182	0.101	0.115	0.135	
490	0.072	0.077	0.084	0.096	0.114	0.142	0.181	0.178	0.082	0.090	0.102	0.121	0.151	0.192	0.186	0.099	0.112	0.133	
500	0.070	0.075	0.082	0.094	0.111	0.140	0.181	0.181	0.080	0.088	0.100	0.119	0.149	0.193	0.190	0.096	0.110	0.131	
510	0.068	0.073	0.080	0.092	0.109	0.138	0.181	0.184	0.078	0.086	0.098	0.117	0.147	0.193	0.193	0.094	0.108	0.128	
520	0.066	0.071	0.078	0.090	0.107	0.136	0.181	0.186	0.076	0.084	0.096	0.114	0.145	0.193	0.196	0.092	0.105	0.126	
530	0.065	0.069	0.076	0.088	0.105	0.134	0.181	0.189	0.074	0.082	0.094	0.112	0.143	0.191	0.199	0.090	0.103	0.124	

TABLE 7 (continued)

$\lambda \text{ m}\mu$	θ°																	
	20	30	40	50	60	70	80	90	30	40	50	60	70	80	90	40	50	60
$i = 20^\circ$																		
540	0,063	0,068	0,075	0,086	0,103	0,132	0,180	0,191	0,072	0,080	0,092	0,110	0,141	0,192	0,202	0,088	0,101	0,121
550	0,062	0,066	0,073	0,084	0,101	0,130	0,179	0,193	0,071	0,078	0,090	0,108	0,139	0,191	0,204	0,086	0,099	0,119
560	0,060	0,064	0,071	0,082	0,099	0,128	0,178	0,196	0,069	0,076	0,088	0,106	0,137	0,190	0,207	0,084	0,097	0,117
570	0,059	0,063	0,070	0,080	0,097	0,126	0,177	0,198	0,067	0,075	0,086	0,104	0,135	0,189	0,209	0,082	0,095	0,115
580	0,057	0,061	0,068	0,078	0,095	0,124	0,176	0,200	0,065	0,073	0,084	0,102	0,133	0,188	0,211	0,081	0,093	0,113
590	0,056	0,060	0,067	0,077	0,094	0,122	0,175	0,201	0,065	0,072	0,083	0,100	0,131	0,187	0,213	0,079	0,092	0,111
600	0,055	0,059	0,065	0,075	0,092	0,120	0,173	0,203	0,063	0,070	0,081	0,098	0,129	0,186	0,215	0,078	0,090	0,109
610	0,054	0,058	0,064	0,074	0,090	0,118	0,172	0,205	0,062	0,069	0,079	0,097	0,127	0,184	0,217	0,076	0,088	0,107
620	0,053	0,056	0,063	0,072	0,098	0,116	0,171	0,206	0,061	0,067	0,078	0,095	0,125	0,183	0,219	0,075	0,086	0,105
630	0,051	0,055	0,061	0,071	0,087	0,115	0,169	0,208	0,059	0,066	0,076	0,093	0,123	0,181	0,221	0,073	0,085	0,103
640	0,050	0,054	0,060	0,070	0,085	0,113	0,168	0,209	0,058	0,065	0,075	0,092	0,121	0,180	0,222	0,072	0,083	0,102
650	0,049	0,053	0,059	0,068	0,084	0,111	0,165	0,210	0,057	0,063	0,073	0,090	0,119	0,179	0,224	0,070	0,082	0,100
660	0,048	0,052	0,058	0,067	0,082	0,110	0,165	0,212	0,055	0,062	0,072	0,089	0,118	0,177	0,225	0,069	0,080	0,099
670	0,048	0,051	0,057	0,066	0,081	0,108	0,164	0,213	0,055	0,061	0,071	0,087	0,116	0,176	0,227	0,068	0,079	0,097
680	0,047	0,050	0,056	0,065	0,080	0,107	0,162	0,214	0,054	0,060	0,070	0,086	0,115	0,174	0,228	0,067	0,078	0,095
690	0,046	0,049	0,055	0,064	0,079	0,105	0,161	0,215	0,053	0,059	0,069	0,084	0,113	0,173	0,229	0,066	0,076	0,094
700	0,045	0,048	0,054	0,063	0,077	0,104	0,159	0,216	0,052	0,058	0,068	0,083	0,111	0,171	0,230	0,065	0,075	0,093
710	0,044	0,048	0,053	0,062	0,076	0,102	0,158	0,217	0,051	0,057	0,066	0,082	0,110	0,170	0,231	0,064	0,074	0,091
720	0,044	0,047	0,052	0,061	0,075	0,101	0,157	0,218	0,050	0,056	0,065	0,081	0,109	0,168	0,232	0,063	0,073	0,090
730	0,043	0,046	0,051	0,060	0,074	0,100	0,155	0,219	0,050	0,055	0,064	0,080	0,107	0,167	0,233	0,062	0,072	0,089
740	0,042	0,045	0,051	0,059	0,073	0,098	0,154	0,220	0,049	0,054	0,063	0,078	0,106	0,165	0,234	0,061	0,071	0,087
750	0,041	0,045	0,050	0,058	0,072	0,097	0,152	0,220	0,048	0,054	0,062	0,077	0,104	0,164	0,235	0,060	0,070	0,086
760	0,041	0,044	0,049	0,057	0,071	0,096	0,151	0,221	0,047	0,053	0,062	0,076	0,103	0,162	0,236	0,059	0,069	0,085
$\lambda \text{ m}\mu$	θ°																	
	70	80	90	50	60	70	80	90	60	70	80	90	70	80	90	80	90	
$i = 40^\circ$																		
$i = 50^\circ$																		
$i = 60^\circ$																		
$i = 70^\circ$																		
$i = 80^\circ$																		
380	0,158	0,156	0,126	0,142	0,156	0,169	0,163	0,125	0,170	0,180	0,167	0,116	0,185	0,154	0,086	0,091	0,022	
390	0,162	0,166	0,135	0,143	0,159	0,175	0,175	0,136	0,174	0,190	0,183	0,129	0,200	0,176	0,102	0,114	0,029	
400	0,166	0,174	0,144	0,143	0,160	0,180	0,186	0,146	0,179	0,198	0,197	0,142	0,214	0,196	0,116	0,139	0,038	
410	0,168	0,181	0,151	0,143	0,161	0,183	0,195	0,156	0,181	0,204	0,209	0,154	0,225	0,215	0,130	0,164	0,048	
420	0,169	0,187	0,158	0,142	0,161	0,187	0,203	0,165	0,183	0,209	0,222	0,166	0,234	0,233	0,145	0,189	0,059	

TABLE 7 (continued)

$\lambda \text{ m}\mu$	θ°																	
	70	80	90	50	60	70	80	90	60	70	80	90	70	80	90	80	90	
	$i = 40^\circ$						$i = 50^\circ$						$i = 60^\circ$					
430	0.170	0.193	0.165	0.140	0.161	0.188	0.210	0.173	0.184	0.213	0.232	0.177	0.243	0.250	0.159	0.215	0.072	
440	0.170	0.197	0.172	0.138	0.160	0.189	0.217	0.181	0.184	0.216	0.241	0.187	0.250	0.265	0.173	0.240	0.085	
450	0.170	0.201	0.178	0.137	0.159	0.190	0.222	0.189	0.183	0.218	0.250	0.197	0.255	0.279	0.187	0.265	0.099	
460	0.169	0.204	0.184	0.134	0.157	0.190	0.226	0.196	0.183	0.219	0.257	0.207	0.260	0.292	0.201	0.288	0.113	
470	0.168	0.206	0.189	0.132	0.155	0.189	0.230	0.203	0.181	0.220	0.263	0.217	0.263	0.303	0.215	0.311	0.129	
480	0.167	0.208	0.194	0.130	0.153	0.188	0.233	0.209	0.180	0.222	0.268	0.225	0.266	0.313	0.227	0.332	0.144	
490	0.165	0.210	0.199	0.127	0.151	0.187	0.235	0.215	0.178	0.219	0.272	0.233	0.267	0.322	0.240	0.352	0.160	
500	0.163	0.211	0.203	0.125	0.148	0.185	0.237	0.221	0.176	0.218	0.276	0.241	0.268	0.330	0.252	0.371	0.177	
510	0.161	0.211	0.207	0.123	0.146	0.183	0.238	0.226	0.174	0.217	0.279	0.249	0.269	0.336	0.264	0.388	0.193	
520	0.159	0.211	0.211	0.120	0.144	0.181	0.239	0.231	0.171	0.216	0.281	0.256	0.269	0.342	0.274	0.403	0.209	
530	0.157	0.211	0.215	0.118	0.141	0.179	0.239	0.236	0.169	0.214	0.282	0.263	0.268	0.347	0.285	0.418	0.225	
540	0.155	0.211	0.218	0.116	0.139	0.177	0.240	0.240	0.167	0.212	0.284	0.269	0.268	0.351	0.295	0.431	0.241	
550	0.153	0.210	0.221	0.114	0.137	0.175	0.239	0.244	0.164	0.210	0.284	0.275	0.267	0.354	0.305	0.443	0.257	
560	0.151	0.209	0.224	0.111	0.134	0.173	0.239	0.248	0.162	0.208	0.285	0.281	0.265	0.357	0.314	0.454	0.274	
570	0.149	0.209	0.227	0.109	0.132	0.171	0.238	0.252	0.160	0.206	0.285	0.286	0.264	0.359	0.323	0.464	0.288	
580	0.147	0.207	0.230	0.107	0.130	0.169	0.238	0.256	0.157	0.204	0.285	0.291	0.262	0.361	0.332	0.473	0.304	
590	0.145	0.206	0.232	0.106	0.128	0.167	0.237	0.259	0.155	0.201	0.284	0.296	0.260	0.362	0.340	0.480	0.318	
600	0.143	0.205	0.234	0.103	0.126	0.164	0.235	0.262	0.153	0.199	0.283	0.301	0.258	0.363	0.348	0.488	0.334	
610	0.141	0.204	0.237	0.102	0.124	0.162	0.234	0.265	0.150	0.197	0.283	0.306	0.256	0.363	0.356	0.494	0.349	
620	0.139	0.202	0.239	0.100	0.122	0.160	0.233	0.268	0.148	0.195	0.282	0.310	0.254	0.363	0.363	0.500	0.363	
630	0.136	0.201	0.241	0.098	0.120	0.158	0.231	0.271	0.146	0.192	0.280	0.314	0.252	0.363	0.370	0.506	0.377	
640	0.135	0.199	0.243	0.096	0.118	0.156	0.230	0.273	0.144	0.190	0.279	0.318	0.250	0.363	0.377	0.510	0.390	
650	0.133	0.198	0.245	0.095	0.116	0.154	0.228	0.276	0.142	0.188	0.278	0.322	0.247	0.362	0.384	0.513	0.405	
660	0.131	0.196	0.247	0.093	0.114	0.152	0.227	0.278	0.140	0.186	0.276	0.325	0.245	0.361	0.390	0.517	0.419	
670	0.129	0.195	0.248	0.092	0.112	0.150	0.225	0.280	0.138	0.183	0.275	0.329	0.243	0.360	0.396	0.520	0.431	
680	0.127	0.193	0.250	0.090	0.111	0.148	0.224	0.283	0.136	0.181	0.273	0.332	0.241	0.359	0.401	0.522	0.442	
690	0.126	0.192	0.251	0.089	0.109	0.146	0.222	0.285	0.134	0.179	0.271	0.335	0.238	0.358	0.407	0.524	0.454	
700	0.124	0.190	0.253	0.087	0.108	0.144	0.220	0.287	0.132	0.177	0.270	0.338	0.236	0.357	0.412	0.526	0.465	
710	0.122	0.189	0.254	0.086	0.106	0.142	0.219	0.289	0.131	0.175	0.268	0.341	0.234	0.355	0.417	0.527	0.478	
720	0.121	0.187	0.256	0.085	0.105	0.141	0.217	0.291	0.129	0.173	0.266	0.344	0.232	0.354	0.422	0.528	0.488	
730	0.119	0.186	0.257	0.084	0.103	0.139	0.216	0.292	0.127	0.171	0.265	0.346	0.230	0.352	0.427	0.529	0.498	
740	0.118	0.184	0.258	0.082	0.102	0.137	0.214	0.294	0.126	0.169	0.263	0.349	0.228	0.351	0.431	0.529	0.510	
750	0.116	0.183	0.259	0.081	0.100	0.136	0.212	0.296	0.124	0.167	0.261	0.351	0.225	0.349	0.436	0.530	0.520	
760	0.115	0.181	0.261	0.080	0.099	0.134	0.210	0.297	0.122	0.165	0.259	0.354	0.223	0.347	0.441	0.530	0.530	

TABLE 8. THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE ALBEDO OF SEVERAL BASE SURFACES AND THE OPTICAL THICKNESS OF THE ATMOSPHERE.

λ m μ	Sand	Tillage	Grass	Foliage	Optical thick- ness of the atmosphere
380	0,032	0,065	0,103	0,058	0,7297
390	0,044	0,081	0,111	0,058	0,6757
400	0,056	0,088	0,117	0,058	0,6293
410	0,068	0,094	0,125	0,058	0,5897
420	0,080	0,100	0,133	0,058	0,5535
430	0,090	0,106	0,137	0,058	0,5209
440	0,100	0,112	0,142	0,058	0,4918
450	0,109	0,119	0,154	0,058	0,4653
460	0,118	0,125	0,165	0,058	0,4415
470	0,126	0,131	0,174	0,058	0,4187
480	0,134	0,138	0,183	0,058	0,3994
490	0,142	0,144	0,196	0,058	0,3810
500	0,150	0,150	0,208	0,058	0,3644
510	0,160	0,156	0,220	0,078	0,3488
520	0,170	0,161	0,233	0,083	0,3350
530	0,185	0,167	0,249	0,100	0,3221
540	0,200	0,172	0,266	0,117	0,3102
550	0,212	0,178	0,280	0,109	0,2992
560	0,225	0,183	0,294	0,100	0,2883
570	0,238	0,189	0,305	0,091	0,2792
580	0,250	0,195	0,316	0,082	0,2698
590	0,262	0,200	0,324	0,079	0,2622
600	0,275	0,205	0,333	0,075	0,2536
610	0,287	0,210	0,342	0,071	0,2463
620	0,300	0,215	0,350	0,067	0,2394
630	0,306	0,220	0,358	0,064	0,2325
640	0,312	0,225	0,367	0,060	0,2265
650	0,318	0,230	0,375	0,060	0,2206
660	0,325	0,235	0,383	0,060	0,2152
670	0,330	0,240	0,389	0,064	0,2099
680	0,334	0,245	0,395	0,075	0,2050
690	0,340	0,250	0,401	0,082	0,2002
700	0,345	0,258	0,408	0,150	0,1960
710	0,350	0,266	0,414	0,262	0,1916
720	0,356	0,274	0,420	0,375	0,1878
730	0,361	0,281	0,426	0,463	0,1841
740	0,367	0,289	0,433	0,550	0,1804
750	0,372	0,297	0,438	0,600	0,1768
760	0,378	0,305	0,442	0,650	0,1732

REFERENCES

1. Shifrin, K.S. and Minin, I.N. The Theory of Nonhorizontal Visibility (K teorii negorizontal'noy vidimosti). Trudy GGO, No. 68, 1957.
2. Sobolev, V.V. On the Scattering of Light in the Atmosphere of the Earth and of the Planets (O rasseyaniya sveta v atmosfere zemli i planet). Uchenyye Zapiski LGU, No. 116, 1949.
3. Foitzik, L. and Zschaeck, H. Spectral Diffusion Measurement of Groundlevel Atmosphere (Messungen der spektralen Zerstreuungspunktion bodennaher Luft). Zs. f. Meteor. 7, No. 1, 1953.
4. Shifrin, K.S. and Pyatovskaya, N.P. Tables for the Inclined Visibility and Brightness of the Daytime Sky (Tablitsy naklonnoy dal'nosti vidimosti i yarkosti dnevnogo neba). Gidrometeoizdat, Leningrad, 1959.

5. Putseyko, Ye. K. Military Optics. Collected Works (Optika v voyennom
dele. sb. statey). Vol. 1, Izd-vo AN SSSR, 1945.

Translated for the National Aeronautics and Space Administration
by John F. Holman and Co. Inc.

"The aeronautical and space activities of the United States shall be conducted so as to contribute . . . to the expansion of human knowledge of phenomena in the atmosphere and space. The Administration shall provide for the widest practicable and appropriate dissemination of information concerning its activities and the results thereof."

—NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ACT OF 1958

NASA SCIENTIFIC AND TECHNICAL PUBLICATIONS

TECHNICAL REPORTS: Scientific and technical information considered important, complete, and a lasting contribution to existing knowledge.

TECHNICAL NOTES: Information less broad in scope but nevertheless of importance as a contribution to existing knowledge.

TECHNICAL MEMORANDUMS: Information receiving limited distribution because of preliminary data, security classification, or other reasons.

CONTRACTOR REPORTS: Technical information generated in connection with a NASA contract or grant and released under NASA auspices.

TECHNICAL TRANSLATIONS: Information published in a foreign language considered to merit NASA distribution in English.

TECHNICAL REPRINTS: Information derived from NASA activities and initially published in the form of journal articles.

SPECIAL PUBLICATIONS: Information derived from or of value to NASA activities but not necessarily reporting the results of individual NASA-programmed scientific efforts. Publications include conference proceedings, monographs, data compilations, handbooks, sourcebooks, and special bibliographies.

Details on the availability of these publications may be obtained from:

SCIENTIFIC AND TECHNICAL INFORMATION DIVISION

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION

Washington, D.C. 20546